

A close-up photograph of a hand holding a grey probe, testing a component on a circuit board. The background is blurred, showing various electronic components and glowing lights. The image is overlaid with a diagonal brown textured pattern.

Lilian Coelho de Freitas
(Organizadora)

**Engenharia Elétrica
e de Computação:
Atividades Relacionadas com
o Setor Científico e Tecnológico**
4

Lilian Coelho de Freitas
(Organizadora)

**Engenharia Elétrica
e de Computação:
Atividades Relacionadas com
o Setor Científico e Tecnológico**
4

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecário

Maurício Amormino Júnior

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Karine de Lima Wisniewski

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

A Atena Editora não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves -Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília

Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFGA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior

Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará

Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal

Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão

Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo

Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana

Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí

Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo

Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecário Maurício Amormino Júnior
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Vanessa Mottin de Oliveira Batista
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadora: Lilian Coelho de Freitas

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia elétrica e de computação: atividades relacionadas com o setor científico e tecnológico 4 / Organizadora Lilian Coelho de Freitas. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-459-7

DOI 10.22533/at.ed.597200610

1. Engenharia elétrica. 2. Computação. I. Freitas, Lilian Coelho de (Organizadora). II. Título.

CDD 621.3

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A Atena Editora apresenta o *e-book* “*Engenharia Elétrica e de Computação: Atividades Relacionadas com o Setor Científico e Tecnológico 3*”. O objetivo desta obra é mostrar aplicações tecnológicas da Engenharia Elétrica e de Computação na resolução de problemas práticos, com o intuito de facilitar a difusão do conhecimento científico produzido em várias instituições de ensino e pesquisa do país.

O *e-book* está organizado em dois volumes que abordam de forma categorizada e interdisciplinar trabalhos, pesquisas e relatos de casos que transitam nos vários caminhos da Engenharia Elétrica e de Computação.

O Volume III tem como foco aplicações e estudos de atividades relacionadas à Computação, abordando temas variados do *hardware* ao *software*, tais como automação e robótica, arquitetura de redes, Internet, computação em névoa, modelagem e simulação de sistemas, entre outros.

O Volume IV concentra atividades relacionadas ao setor elétrico e eletrônico, abordando trabalhos voltados para melhoria de processos, análise de desempenho de sistemas, aplicações na área da saúde, entre outros.

Desse modo, temas diversos e interessantes são apresentados e discutidos, de forma concisa e didática, tendo como base uma teoria bem fundamentada nos resultados práticos obtidos por professores e acadêmicos.

Boa leitura!

Lilian Coelho de Freitas

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

DESEMPENHO DE ISOLADORES SOB CHUVAS INTENSAS

Darcy Ramalho de Mello

DOI 10.22533/at.ed.5972006101

CAPÍTULO 2..... 15

TRAVESSIA DO RIO AMAZONAS E SUPERAÇÃO DA FLORESTA AMAZÔNICA: PROJETO ESTRUTURAL E DESAFIOS CONSTRUTIVOS

Juliana Nobre de Mello Motta

Roberto Luís Santos Nogueira

Luiz Carlos Mendes

Mariana Souza Rechtman

Renata Cristina Jacob de Jesus

DOI 10.22533/at.ed.5972006102

CAPÍTULO 3..... 27

PIRTUC: 15 ANOS DEPOIS - AVALIAÇÃO DAS AÇÕES DE INSERÇÃO REGIONAL DA UHE TUCURUÍ

Sílvia Maria Frattini Gonçalves Ramos

Rosana dos Santos Brandão

DOI 10.22533/at.ed.5972006103

CAPÍTULO 4..... 41

PLANO DE CORTE MANUAL DE CARGA

Anderson Siqueira Nogueira

Rodrigo Damasceno Souza

Marcelo de Calazans Barcelos

Suellen Karine Braga Vieira

Walmir de Oliveira Campos

DOI 10.22533/at.ed.5972006104

CAPÍTULO 5..... 53

PROCEL RELUZ – ILUMINAÇÃO PÚBLICA E SINALIZAÇÃO SEMAFÓRICA EFICIENTES

Adjeferson Custódio Gomes

Adi Neves Rocha

Fabiano Rodrigues Soriano

Luís Ricardo Cândido Cortes

Taís Mirele Fernandes da Silva

Thiago Luís Campos Rodrigues

DOI 10.22533/at.ed.5972006105

CAPÍTULO 6..... 66

PRODUÇÃO EFICIENTE DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO PAINÉIS FOTOVOLTAICOS COM CUSTO OPERACIONAL REDUZIDO

Igor Ferreira do Prado

Taís Mirele Fernandes da Silva
Marcelo Bento Pisani
Rodrigo Dórea da Silva
DOI 10.22533/at.ed.5972006106

CAPÍTULO 7..... 77

PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM: BREVE PANORAMA

Adjeferson Custódio Gomes
Fabiano Rodrigues Soriano
Fábio Alexandre Martins Monteiro
Luís Ricardo Cândido Cortes
Victor Santos Matos
Vinícius de Souza Andrade Wanderley

DOI 10.22533/at.ed.5972006107

CAPÍTULO 8..... 88

REPRESENTAÇÃO DE MODELOS RACIONAIS NO PROGRAMA ATP

Sergio Luis Varricchio

DOI 10.22533/at.ed.5972006108

CAPÍTULO 9..... 100

**UMA PROPOSTA PARA A IDENTIFICAÇÃO DA ORIGEM DOS FENÔMENOS
VTCDS EM INSTALAÇÕES CONSUMIDORAS SUPRIDAS POR
TRANSFORMADORES DELTA-ESTRELA ATERRADA**

Adrian Ribeiro Ferreira
José Carlos de Oliveira
Paulo Henrique Oliveira Rezende

DOI 10.22533/at.ed.5972006109

CAPÍTULO 10..... 113

**ANÁLISE DO POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA NO ESTADO DA
BAHIA**

Adjeferson Custódio Gomes
Fabiano Rodrigues Soriano
Giovanna Buscatti Gonçalves
Luís Ricardo Cândido Cortes
Victor Santos Matos
Vinícius de Souza Andrade Wanderley

DOI 10.22533/at.ed.59720061010

CAPÍTULO 11..... 129

**ANÁLISE DA INTEGRAÇÃO HIDRO-SOLAR AUXILIADO POR UM SISTEMA DE
ARMAZENAMENTO DE ENERGIA NA FORMA DE HIDROGÊNIO JUNTO À USINA
HIDROELÉTRICA DE MANSO**

Juarez Corrêa Furtado Júnior
Ennio Peres da Silva
Vitor Feitosa Riedel
Demóstenes Barbosa da Silva

Diogo Oliveira Barbosa da Silva
Ana Beatriz Barros Souza
Hélio Nunes de Souza Filho

DOI 10.22533/at.ed.59720061011

CAPÍTULO 12..... 146

ANÁLISE DE METODOLOGIAS PARA DETECÇÃO DE PERDA DE EXCITAÇÃO EM GERADORES SÍNCRONOS

Mateus Camargo Franco
Eduardo Machado dos Santos
Alex Itczak
Arian Rodrigues Fagundes
Artur Henrique Rodrigues

DOI 10.22533/at.ed.59720061012

CAPÍTULO 13..... 160

DESENVOLVIMENTO DE FUNCIONALIDADES COMPUTACIONAIS PARA ATENDIMENTO DOS NOVOS PROCEDIMENTOS DE REDE PARA ESTUDOS DE DESEMPENHO HARMÔNICO

Cristiano de Oliveira Costa
Sergio Luis Varricchio
Franklin Clement Véliz
Fabiano Andrade Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.59720061013

CAPÍTULO 14..... 174

EXTRAÇÃO DE PARÂMETROS DE MÁQUINAS SÍNCRONAS POR MEIO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE ENSAIO DE CURTO-CIRCUITO

Guilherme Gomes dos Santos
Paulo Sérgio Zanin Júnior

DOI 10.22533/at.ed.59720061014

CAPÍTULO 15..... 188

APRENDIZADO AUTODIDATA DA LÍNGUA INGLESA

Lucas Eid Ramire Gonçalves
Luiz Eduardo Vieira Montanha
Marco Antonio Nagao

DOI 10.22533/at.ed.59720061015

CAPÍTULO 16..... 193

MODELAGEM DE PROCESSOS: UMA PROPOSTA DE MELHORIA PARA A ATUAÇÃO DAS EQUIPES DE SAÚDE DA ATENÇÃO BÁSICA

Ana Carla do Nascimento Santos
Jislane Silva Santos de Menezes
Almerindo Nascimento Rehem Neto
Adriana de Melo Fontes
Gilson Pereira dos Santos Júnior
Jean Louis Silva Santos

Cristiane Oliveira de Santana

DOI 10.22533/at.ed.59720061016

SOBRE A ORGANIZADORA.....	206
ÍNDICE REMISSIVO.....	207

ANÁLISE DE METODOLOGIAS PARA DETECÇÃO DE PERDA DE EXCITAÇÃO EM GERADORES SÍNCRONOS

Data de aceite: 01/10/2020

Data de submissão: 07/07/2020

Mateus Camargo Franco

Universidade Federal do Pampa - Unipampa
Alegrete- RS
<http://lattes.cnpq.br/6959728384001220>

Eduardo Machado dos Santos

Universidade Federal do Pampa - Unipampa
Alegrete- RS
<http://lattes.cnpq.br/2387118009577291>

Alex Itczak

Universidade Federal do Pampa - Unipampa
Alegrete- RS
<http://lattes.cnpq.br/3230243109713390>

Arian Rodrigues Fagundes

Universidade Federal do Pampa - Unipampa
Alegrete- RS
<http://lattes.cnpq.br/5204442190325133>

Artur Henrique Rodrigues

Universidade Federal do Pampa - Unipampa
Alegrete- RS
<http://lattes.cnpq.br/49564455158563958>

RESUMO: O gerador síncrono é uma fonte de tensão com frequência constante que fornece energia para uma carga. Os níveis de tensão e corrente nos terminais do gerador estão relacionados ao sistema de excitação que fornece corrente contínua, induzindo um campo magnético nos enrolamentos do gerador. A subexcitação desta máquina pode conduzir

a sérios problemas, como afundamento de tensão nos terminais, perda de capacidade de gerar energia ativa, aquecimento da máquina e consumo de energia reativa. Dessa forma, é necessário estudar e desenvolver metodologias que protejam a máquina contra esses problemas indesejáveis. Assim, o presente estudo demonstra uma técnica de detecção da perda total e parcial de excitação em geradores síncronos. A técnica é baseada na extração de envoltórias dos sinais de corrente e tensão nos terminais do gerador através de um filtro morfológico.

PALAVRAS-CHAVE: Potência ativa, perda de excitação, filtro morfológico, gerador síncrono e envoltórias.

ANALYSIS OF METHODOLOGIES FOR DETECTION OF EXCITATION LOSS IN SYNCHRONOUS GENERATORS

ABSTRACT: The synchronous generator is a voltage source with constant frequency that provide power for a load. The voltage and current levels at the generator terminals are related to the excitation system that provides direct current, inducing a magnetic field, in the windings of the generator. Under-excitation of the generator can lead to serious problems, such as the voltage drop at terminals, loss of capacity to generate active power, heating of the machine and consumption of reactive power. In this way, it is necessary to study and develop methodologies that protect the machine against these undesirable problems. Thus, the present study intends to demonstrate a technique of detection of total and partial loss of excitation in synchronous generators. The

technique is based on the extraction of the current and voltage waveform envelope at the generator terminals through a morphological filter.

KEYWORDS: Active Power, Loss of Excitation, Morphological Filter, Synchronous Generator and Waveform Envelope.

1 | INTRODUÇÃO

Os geradores síncronos são caracterizados por serem máquinas capazes de fornecer potência elétrica em frequência constante. O termo síncrono faz referência ao sincronismo entre a velocidade mecânica de rotação do gerador e a frequência elétrica produzida. Devido a essa característica de sincronismo, os geradores síncronos são comumente empregados em centrais geradoras de eletricidade (CHAPMAN, 2013).

Nos geradores síncronos, o campo magnético é produzido no rotor. O rotor pode ser projetado com ímãs permanentes ou podem ser magnetizados por um circuito de corrente contínua, dito circuito de campo ou de magnetização. Quando o rotor é eletromagnetizado, ele se torna sujeito à problemas de perda de excitação (PE), devido, principalmente, à problemas no circuito de campo.

O circuito de campo do rotor dos geradores síncronos pode reportar problemas como curto-circuito, atuação indevida dos disjuntores de campo e falta de alimentação. As perdas parciais ou totais de excitação podem implicar em danos permanentes na máquina síncrona quando estes perduram por um longo período de tempo, devido ao sobreaquecimento dos enrolamentos e elevação de velocidade nominal da máquina.

Devido a sua importância para o sistema elétrico de potência (SEP), os geradores síncronos devem possuir uma proteção robusta e eficaz (FILHO e MAMEDE, 2011). Assim, eles não devem ser desconectados da rede por motivos indevidos, devendo possuir proteções que impeçam o seu funcionamento de maneira adequada, já que tal efeito pode resultar em problemas no sistema elétrico de potência. Quando os geradores encontram-se em paralelismo e uma ou mais das máquinas passam por condições de perda de excitação, as máquinas em plena operação devem suprir a demanda das que se encontram em falha, bem como injetar os reativos que estas ocasionalmente passam a demandar. Tal efeito implica em sérios problemas ao SEP, pois pode resultar em afundamentos de tensão e distorção do fluxo de potência.

Com base nos problemas causados pela perda de excitação, desenvolveu-se uma metodologia onde o estudo é direcionado para a proteção do gerador sob condições de falhas no seu sistema de magnetização, os quais resultam na perda parcial ou total de excitação. O estudo é baseado na análise morfológica de sinais de

corrente e tensão, com a utilização de filtros morfológicos de extração de envoltórias (FMEE) (GABE, 2014). Outra vertente de atuação da metodologia, é a percepção e diferenciação de quando há presença de perda parcial ou total de excitação, fazendo com que a proteção da máquina tenha um melhor diagnóstico para atuar.

A técnica desenvolvida para a detecção da perda de excitação também foi comparada com outra técnica recentemente proposta na literatura especializada, que tem como base a variação da potência reativa e tensão terminal da máquina síncrona quando esta se encontra sobre efeitos de perda de excitação. Os dados utilizados foram obtidos no software de simulação DigSilent® e foram processados no Matlab®.

2 | EFEITOS DA PERDA DE EXCITAÇÃO

O sistema de excitação das máquinas síncronas é o responsável por fornecer corrente contínua aos enrolamentos de campo. Através desse sistema, consegue-se regular a tensão terminal da máquina. De acordo com (KUNDUR, 1994), o sistema de excitação também assegura os limites da máquina síncrona e contribui para a estabilidade do sistema.

Falhas no sistema de excitação podem comprometer a integridade da máquina síncrona. Os efeitos da perda de excitação nos geradores síncronos são: consumo de potência reativa, aquecimento dos enrolamentos, afundamento de tensão, elevação das correntes e redução de potência ativa gerada. Estes efeitos são provenientes do enfraquecimento do acoplamento magnético entre rotor e estator, fato que influencia na elevação de velocidade da máquina.

O enfraquecimento do acoplamento magnético entre rotor e estator faz com que a máquina opere em velocidade diferente da nominal, devido a existência do ajuste de velocidade. O ajuste de velocidade representa um controle que é regulado de forma a garantir que uma mesma quantidade de potência mecânica seja entregue pela máquina.

Desta forma, o sistema de excitação é de extrema importância para o funcionamento das máquinas síncronas, fazendo-se necessário a presença de sistemas de proteção que permitam a sua integridade.

3 | PROTEÇÃO DOS GERADORES SÍNCRONOS

Os geradores síncronos são de extrema importância para o sistema elétrico de potência em que estão inseridos. Desta maneira, necessitam de proteções que permitam o seu pleno funcionamento, conforme citado anteriormente. As proteções empregadas nos geradores síncronos devem garantir que a máquina esteja

operando de maneira adequada e que elas não sejam retiradas de operação de maneira indevida. Desta forma, o sistema de proteção dos geradores síncronos deve atender os seguintes requisitos e características (FILHO e MAMEDE, 2011):

- Evitar a ocorrência de defeitos;
- Na ocorrência de defeitos, minimizar os danos recorrentes;
- Não atuar para faltas além da zona de atuação;
- Limitar a corrente de defeito fase-terra para valores que os equipamentos suportem;
- Operar com extrema rapidez para defeitos internos ao gerador.

Portanto, o FMEE visa atender os requisitos citados e aplicá-los na análise das perdas parciais ou totais de excitação de geradores síncronos, permitindo uma proteção robusta e eficaz.

4 | METODOLOGIA

As metodologias aqui analisadas, foram testadas para o sistema teste da Figura 1, onde obtiveram-se os resultados para a realização das comparações. O sistema foi implementado no software DigSilent Power Factory[®], onde foram simuladas as perdas parcial e total de excitação de um gerador síncrono de 500 MVA. Os casos simulados para a perda parcial de excitação foram para 0%, 50% e 90% do valor nominal em p.u. da tensão do circuito de campo.

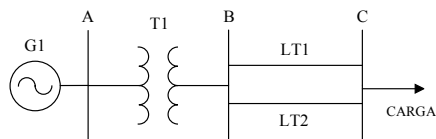


Figura 1. Sistema teste.

Nas simulações, foram observados o comportamento da Barra A da Figura 1, bem como, as potências ativas e reativas da máquina síncrona, devido ao fato que essas grandezas apresentam alterações, à medida que a máquina passa por eventos de subexcitação. Nas simulações os efeitos de perda parcial ou total de excitação iniciam a partir dos 0,2s.

Conforme a Figura 1, o sistema teste é composto pelo gerador síncrono, transformador e duas linhas de transmissão (LT1 e LT2). Os parâmetros e especificações que configuram estes equipamentos podem ser encontrados nas Tabelas 1 a 5. Nas Tabelas 1, 2 e 3, estão representadas as especificações,

parâmetros e carregamentos do Gerador Síncrono. Já a Tabela 4 demonstra as características do Transformador e a Tabela 5 os parâmetros das linhas de transmissão.

Especificações do Gerador Síncrono	
Tipo do Rotor	Polo Liso
Potência Nominal (MVA)	500
Fator de Potência	0.96
Frequência de Operação (Hz)	60
Tensão Nominal (kV)	13.8
Ligação	YN

Tabela 1. Especificações do Gerador Síncrono

Parâmetros	Gerador Síncrono 500 MVA	Parâmetros	Gerador Síncrono 500 MVA
X_d (p.u.)	1.60	$T'd_0$ (s)	6.10
X'_d (p.u.)	0.48	$T''d_0$ (s)	0.1050
X''_d (p.u.)	0.30	$T'q_0$ (s)	0.1800
X_d (p.u.)	0.95	H (s)	4.00
X_2 (p.u.)	0.2860	PS-1,0 (p.u.)	0.1833
X_0 (p.u.)	0.11	OS-1,2 (p.u.)	0.3333

Tabela 2. Parâmetros do Gerador Síncrono (GAZEN, MORAIS, et al., 2010).

Carregamento	Gerador 500 MVA
25%	120 + j35 MVA
50%	240 + j70 MVA
75%	360 + j105 MVA
100%	480 + j140 MVA

Tabela 3. Carregamento do Gerador Síncrono (GABE, 2014).

Parâmetros	Linha de Transmissão
V(kV)	500
Z_1, Z_2 (Ω)	0.0212 + j0.01162
Z_0 (Ω)	0.0848 + j0.4650
B_1, B_2 (μS)	72.2566
B_0 (μS)	72.4451

Tabela 4. Parâmetros das Linhas de Transmissão (GAZEN, MORAIS, et al., 2010).

Parâmetro	Transformador
S (MVA)	550
V (kV)	13.8/500
X (p.u.)	0.19

Tabela 5. Parâmetros do Transformador (GAZEN, MORAIS, *et al.*, 2010).

Com as simulações, conseguiu-se um banco de dados, cujos sinais foram processados através do FMEE, para os respectivos sinais de tensão e corrente do terminal da máquina, com os quais a metodologia proposta pôde classificar os casos de perdas de excitação como parcial ou total.

4.1 Utilizando o filtro morfológico de extração de envoltórias (fmee) para a detecção de perdas parcial e total de excitação.

A metodologia proposta utiliza operadores morfológicos de dilatação e erosão para a detecção de perdas parcial e total de excitação. A detecção é baseada na diferenciação das envoltórias superiores e inferiores dos sinais de corrente e tensão processados, as quais foram extraídas pelo filtro morfológico (WU, LU e JI, 2009) e (ITCZAK, 2016).

Os valores de corrente e tensão são processados pelo filtro em uma janela móvel que contém $N/6$ amostras, sendo N o número de amostras por ciclo, conforme equação (1). A variável ' n ' representa a amostra atual, enquanto ' x_0 ' representa o primeiro termo da janela, o qual é descartado à medida que novas amostras são inseridas. Quando uma nova amostra é inserida, os termos são deslocados para a esquerda do vetor referente a janela móvel, onde o termo ' x_n ' representará a amostra atual.

$$W_1(n) = [x_0, x_1, x_2, x_3, \dots, x_n] \quad (1)$$

Em cada janela obtida são aplicados os operadores de dilatação e erosão, que foram modificados para a extração de envoltórias dos sinais de corrente e tensão. Como forma de não se alterar os valores de máximo e mínimo dos sinais processados, adotou-se que o elemento estruturante (SE) é nulo. Assim, determinam-se as equações (2) e (3), onde (2) foi obtida através do operador de dilatação, enquanto (3) através do operador de erosão:

$$W_1 \oplus (n)SE = \max W_1(n) \quad (2)$$

$$W_1 \ominus (n)SE = \min W_1(n) \quad (3)$$

Nas equações acima, a janela móvel (W) pode ser referente tanto ao sinal de corrente quanto ao de tensão, dependendo apenas do direcionamento da análise. Através de (2) e (3), consegue-se determinar um sinal $Y(n)$, que é extraído através

da média aritmética entre a soma dos valores de erosão e dilatação, conforme a equação (4).

$$Y(n) = \frac{1}{2} [W_1 \oplus (n)SE - W_1 \ominus (n)SE] \quad (4)$$

Os valores de $Y(n)$ são divididos em valores maiores que zero e menores que zero, onde os valores maiores que zero representam a pré-envoltória superior do sinal analisado, enquanto que os valores menores que zero representam a pré-envoltória inferior. Como maneira de se evitar oscilações numéricas decorrentes da amostragem, os valores numéricos são realocados em uma nova janela móvel $W_2(n)$, que possui comprimento de 5 ciclos ($5 \cdot N$) e é atualizada da mesma maneira que $W_1(n)$ (ITCZAK, 2016). Desta forma, as equações (5) e (6) definem as envoltórias superior e inferior, respectivamente. Sendo válido ressaltar que os sinais podem ser referentes a tensão ou corrente.

$$EnvSuperior(n) = \max W_2 superior(n) \quad (5)$$

$$EnvInferior(n) = \max W_2 inferior(n) \quad (6)$$

A partir das envoltórias extraídas pelo filtro morfológico, a metodologia é capaz de classificar o evento no qual o gerador se encontra. Desta maneira, através das envoltórias obtidas pelo filtro consegue-se determinar as perdas parciais ou totais de excitação. Para tal classificação, faz-se necessário a utilização das equações (7) e (8).

$$DifEnv(n) = EnvSuperior(n) - EnvInferior(n) \quad (7)$$

$$\Delta DifEnv(n) = \Delta DifEnv(n) - \Delta DifEnv(n - 1) \quad (8)$$

As classificações são padronizadas através de constantes diferentes. Quando à ocorrência de eventos de PE parcial ou total, tem-se que, se o sinal analisado for a corrente, quando $\Delta DifEnv(n) > 1 \times 10^{-7}$, haverá a classificação de perda de excitação da máquina. Entretanto, quando se analisa o sinal de tensão, a classificação de perda de excitação será realizada quando $\Delta DifEnv(n) < -1 \times 10^{-7}$. Ambos os casos devem ser confirmados por pelo menos 10 ciclos (ITCZAK, 2016).

A metodologia foi implementada no software Matlab®, onde foi considerado uma taxa de amostragem de 96 amostras por ciclo. Foram testados casos de perda parcial e total de excitação para um carregamento de 100% para máquina síncrona.

4.2 Características da Metodologia comparada

A metodologia comparada utiliza as variações de potência reativa e tensão terminal para a detecção de perda de excitação (AMINI, 2015). Trata-se de um estudo recente que demonstrou êxito na identificação de eventos de perda de excitação nos geradores síncronos. A metodologia é baseada na influência do

sistema de excitação de um gerador síncrono em sua tensão terminal e potência reativa, onde, nos casos de perda de excitação, esses parâmetros demonstraram um comportamento específico.

O processo para a detecção de perda de excitação ocorre basicamente sobre a análise da equação (9). Nessa equação calcula-se a LOEI (Loss of excitation index) onde são determinadas amostras de perda de excitação com base na variação da potência reativa Q e tensão terminal V_t , a constante 10^5 é utilizada para tornar a amostra mais visível. O termo ' k ' representa a k -ésima amostra (AMINI, 2015).

$$LOEI = 10^5 x [Q^{(k)} - Q^{(k-1)}] x [V_t^{(k)} - V_t^{(k-1)}] \quad (9)$$

A perda de excitação é detectada quando a LOEI é repetida por 8 vezes e é maior que o valor limite de ajuste, denominado Th . Esse ajuste é um parâmetro mínimo para que a LOEI seja caracterizada como crítica e possa ser contabilizada como uma amostra. É válido ressaltar que em sua tese original, tal proposta era analisada em um sistema que operava em 50 Hz, onde considerava-se então que a LOEI fosse repetida por 10 amostras, entretanto, neste trabalho a análise é feita sobre um sistema em 60 Hz. Desta forma, foi considerado um número mínimo de amostras igual a 8. Outro critério para a detecção da perda de excitação é a tensão terminal V_t . Os autores afirmam em seu trabalho que, para a existência da LOEI, a tensão terminal deve ser inferior a 0.95 p.u. (AMINI, 2015).

5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são analisados os resultados obtidos com a metodologia baseada no FMEE. Depois os resultados são comparados com aqueles obtidos pela metodologia abordada em (AMINI, 2015).

5.1 Perda total de excitação em um gerador síncrono de 500 MVA operando com 100% de carregamento.

Na Figura 2, observa-se o sinal de corrente nos terminais do gerador. Esse sinal é analisado sob influência de uma perda total de excitação da máquina. Verifica-se um crescimento da envoltória até o regime permanente. No sinal de tensão, exposto na Figura 3, pode-se observar um decremento nas envoltórias até o seu regime permanente.

Então, os sinais apresentados nas Figuras 2 e 3 são processados pelo FMEE. A partir do processamento, conseguem-se os sinais apresentados nas Figuras 4 e 5. Nessas Figuras, observa-se as envoltórias superior e inferior dos sinais de corrente e tensão, respectivamente.

Quando se realiza a diferença entre as envoltórias superior e inferior dos sinais de corrente e tensão, obtêm-se os gráficos apresentados nas Figuras 6 e 7,

respectivamente. Esses sinais são obtidos pela subtração algébrica da envoltória superior pela inferior do sinal, que são calculadas de acordo com a metodologia proposta.

As Figuras 8 e 9 apresentam as diferenças entre as amostras para os primeiros 10 ciclos dos sinais de tensão e corrente. Nas referidas Figuras, pode-se observar que ambas as envoltórias satisfazem as condições de classificação do evento como perda de excitação, assim, confirmando que o filtro morfológico classifica o transitório corretamente.

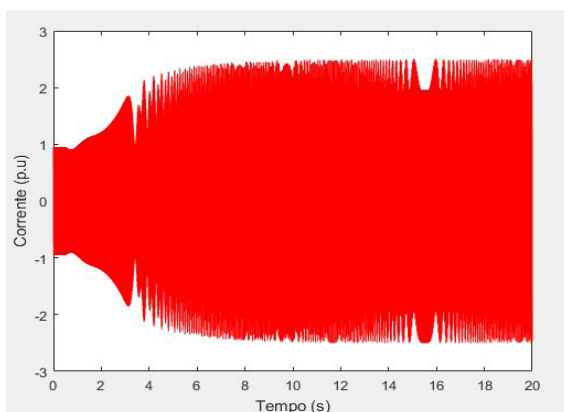


Figura 2. Sinal de corrente senoidal para uma perda total de excitação em um gerador de 500 MVA.

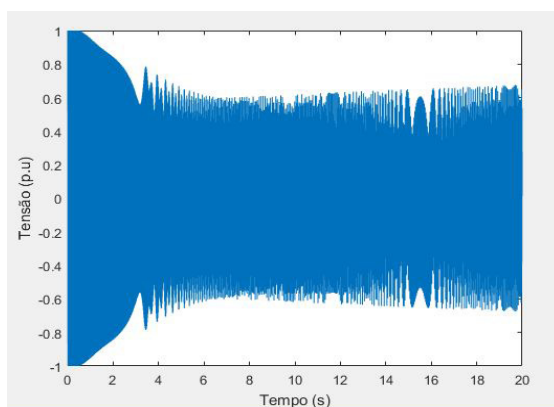


Figura 3. Sinal de tensão senoidal para perda total de excitação em um gerador de 500MVA

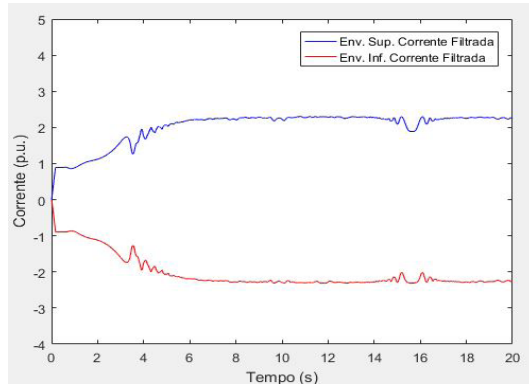


Figura 4. Envoltórias Superior e Inferior do sinal de corrente.

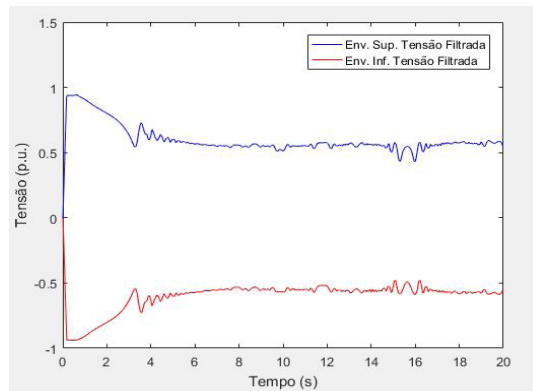


Figura 5. Envoltórias Superior e Inferior do sinal de tensão.

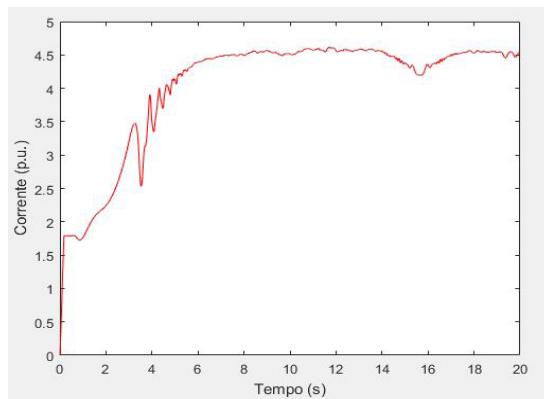


Figura 6. Diferença das envoltórias da corrente para perda total de excitação.

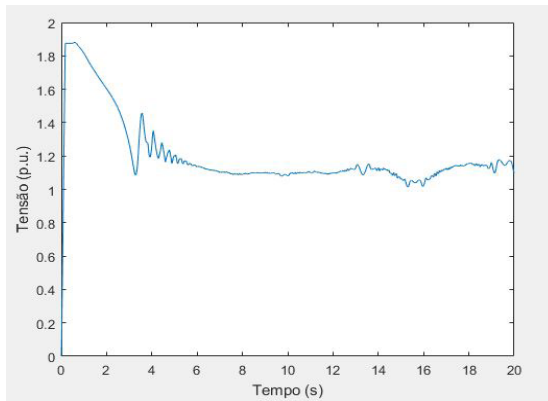


Figura 7. Diferença das envoltórias da tensão para perda total de excitação.

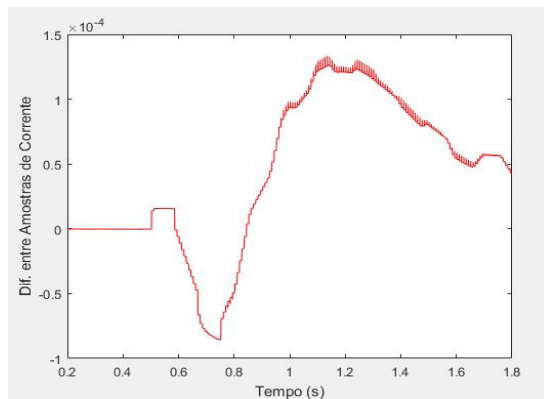


Figura 8. Diferenças entre amostras de Corrente.

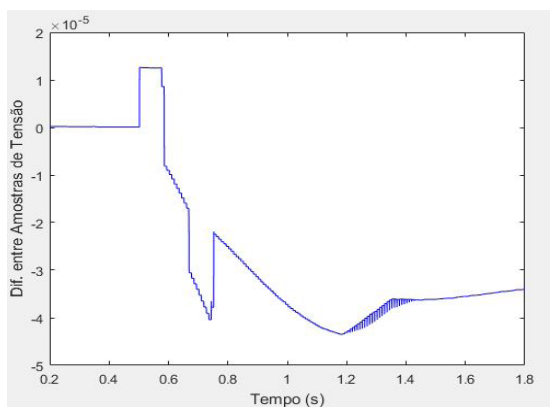


Figura 9. Diferenças entre as amostras de Tensão

Na Tabela 6, tem-se o tempo de detecção e atuação da metodologia do Filtro Morfológico de Extração de Envoltórias para um gerador de 500 MVA, operando sob condições de perda total de excitação e 100% de carregamento.

Carga	Excitação (p.u.)	Deteção de Possível PE (s)	Confirmação após Possível Deteção (s)	Tempo Acumulado (s)
100%	0	0.5858	0.3415	0.9273

Tabela 6. Tempo de atuação para perda total de excitação.

Nas Figuras 10 e 11, pode-se observar o comportamento da técnica baseada na variação da potência reativa, bem como os momentos de detecção da LOEI. Pode ser observado, na Figura 10, a variação abrupta da potência reativa que representa uma das consequências da perda de excitação nos geradores síncronos. Na Figura 11, são demonstradas as amostras dos eventos de perda de excitação. Foi utilizado um ajuste de Th igual a 35 para os dados obtidos.

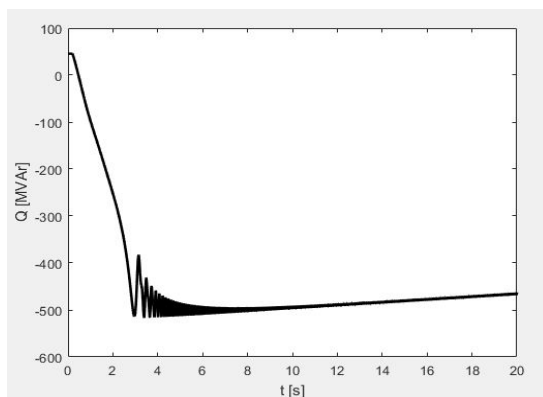


Figura 10. Comportamento da potência reativa na máquina.

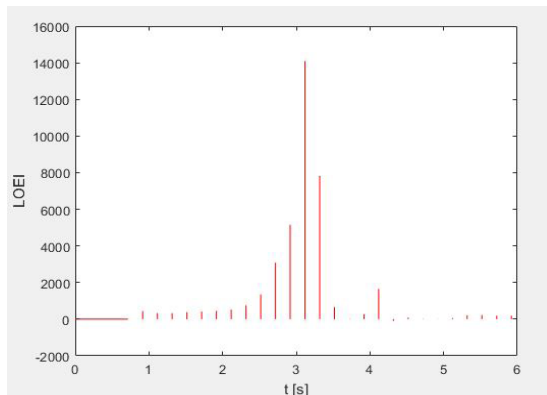


Figura 11. Detecção de LOEI.

5.2 Análise das metodologias para perdas parcial e total de excitação em um gerador de 500MVA com 100% de carregamento

Sabe-se que além da perda total de excitação outro problema indesejável para os geradores síncronos é a perda parcial de excitação, este problema ocorre quando a tensão de excitação da máquina é menor que 1 p.u. e maior que 0 p.u. Desta maneira, as proteções também devem atuar para esses casos, pois a perda parcial de excitação também é um evento que pode causar danos à máquina. Sendo assim, na Tabela 7, tem-se os tempos de classificação e atuação das metodologias analisadas para casos de 0, 0,5 e 0,9 p.u. da tensão de excitação.

De acordo com a Tabela 7, pode-se observar que o tempo de atuação para a proteção baseada no FMEE é menor que o apresentado pela metodologia comparada. Desta forma, o FMEE demonstra-se ser uma técnica eficaz para a detecção de perdas parciais e totais de excitação da máquina, o que poderia evitar sobreaquecimento e demais problemas relacionados a sua subexcitação, permitindo uma vida útil maior para a máquina. O maior tempo de atuação da técnica baseada na variação da potência reativa pode estar relacionado com o tempo de espera para a detecção do evento da perda de excitação, o qual está relacionado a taxa de amostragem dos valores de tensão terminal e potência reativa.

Atuação	FMEE		Metodologia Comparada
	Classificação	$t_{\text{classificação}}$ (s)	$t_{\text{atuação}}$ (s)
PE 0 p.u.	PE	0.9273	2.3172
PE 0.5 p.u.	PE	9.9271	2.4796
PE 0.9 p.u.	PE	0.9271	2.7729

Tabela 7. Comparação entre os tempos de atuação das metodologias

6 | CONCLUSÃO

Tendo-se em vista os resultados alcançados, conclui-se que o FMEE demonstrou ser uma metodologia eficaz já que detecta as perdas parciais e totais de excitação de maneira eficiente, atuando de forma mais rápida do que a técnica proposta em (AMINI, 2015). A metodologia baseada no FMEE permite que a máquina seja desconectada de forma rápida quando ocorre a detecção de perda de excitação. Com isso, eleva-se a vida útil do gerador síncrono e a confiança do sistema elétrico de potência. Desta maneira, trata-se de uma técnica promissora, tendo em vista que, em outras oportunidades, como nos trabalhos de (GABE, 2014) e (ITCZAK, 2016), ela também foi capaz de distinguir oscilações estáveis de potência das perdas parcial e total de excitação, o que evitaria uma atuação indevida do sistema de proteção.

REFERÊNCIAS

- AMINI, M. . D. M. . S.-P. M. **A novel approach to detect the synchronous generator loss of excitation.** [S.I.]: IEEE, 2015.
- CHAPMAN, S. J. **Fundamentos de Máquinas Elétricas.** New York: MC Graw Hill, 2013.
- FILHO, J. M.; MAMEDE, D. R. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência.** Rio de Janeiro: LTC, 2011.
- GABE, J. **Filtro Morfológico de Extração de Envoltória para a Proteção Contra a Perda de Excitação do Gerador Síncrono.** Alegrete: Unipampa, 2014.
- GAZEN, Y. N. et al.. **Proteção Contra Perda de Excitação em Geradores Síncronos Através do Cálculo Contínuo da Impedância Aparente.** Anais do XVIII Congresso Brasileiro de Automática, Bonito MS, 2010.
- ITCZAK, A. **“Análise de metodologia para detecção de perda total de excitação em geradores síncronos sob condição de perda parcial de campo”.** Unipampa, 2016. Alegrete: Unipampa, 2016.
- KUNDUR, P. **Power System Stability and Control.** New York: McGraw-Hill, 1994.
- WU, Q. H.; LU, Z.; JI, T. Y. **Protective relaying of Power Systems Using Mathematical Morphology.** London, UK: Springer, 2009.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Ação socioambiental 27

Alternative Transient Program (ATP) 88

Armazenamento de energia elétrica 129, 131, 138, 143, 144

Atenção básica de saúde 193, 201, 203

B

BPMN 193, 194, 195, 197, 198, 204, 205

C

Cálculo estrutural 16

Chuva 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14

Compensações sociais 27

Custo operacional 66, 76

D

Descargas disruptivas 3

Desempenho dielétrico 1, 2, 13

Distribuição de energia 144

E

Eficiência energética 53, 54, 55, 56, 61, 62, 64, 66, 67, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 117, 127, 137, 144

Eletrobras 28, 33, 38, 39, 40, 58, 64, 65, 79, 86, 163

Eletronorte 27, 28, 31, 33, 38, 39, 40

Energia solar 66, 67, 68, 73, 76, 114, 115, 116, 127, 128, 136, 139, 141, 145

Energia solar fotovoltaica 66, 76, 127, 128, 136, 139, 141

Envoltórias 146, 148, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 183

Extração de parâmetros 174, 183, 184, 186

F

Filtro morfológico 146, 151, 152, 154, 157, 159

Funções de transferência 88, 89

G

Geração de energia 61, 63, 66, 67, 68, 71, 76, 84, 87, 129, 130, 139, 140, 141

Gerador síncrono 146, 149, 150, 153, 159, 187

H

Harmônicos 160, 161, 163, 164, 165, 167, 171, 172

HarmZs 89, 90, 98, 160, 161, 163, 164, 165, 166, 167, 169, 170, 172

Hidrogênio 129, 131, 132, 138, 139, 141, 142, 143, 144

I

Iluminação pública 53, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65

Isoladores 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 17

M

Máquina síncrona 147, 148, 149, 152, 174, 175, 177, 178, 179, 181, 182, 183, 184, 185, 186

Modelagem de processos 193, 197

Modelo de acompanhamento 88, 93

Modelos racionais 88, 89, 90

O

Operador nacional do sistema elétrico 41, 133, 143, 161

P

Painéis fotovoltaicos 66, 69, 76, 84, 131, 136, 137, 142

Painéis solares flutuantes 129, 130

Perda de excitação 146, 147, 148, 152, 153, 154, 157, 158, 159

Plano de corte manual de carga 41, 42, 46, 48, 51

Potência ativa 47, 146, 148

Procedimentos de redes 160

Procel Reluz 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65

Programa brasileiro de etiquetagem 56, 77, 78, 82, 86, 87

Q

Qualidade da energia 100, 103

R





Reatância 174, 175, 177, 178, 180, 183, 186

S





Sistema interligado nacional 15, 41, 119, 138, 161, 162, 171

U

UHE Tucuruí 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 37, 38, 39, 40

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

**Engenharia Elétrica
e de Computação:
Atividades Relacionadas com
o Setor Científico e Tecnológico**
4

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 @atenaeditora
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

**Engenharia Elétrica
e de Computação:
Atividades Relacionadas com
o Setor Científico e Tecnológico**
4